

VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU

PROMETNI ODJEL

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ PROMET

Ivan Dino Tolić

**UPOREBA KATALIZATORA U CILJU SMANJENJA ONEČIŠĆENJA I
DEGRADACIJE ZRAKA**

Završni rad

Šibenik, 2016.

VELEUČILIŠTE U ŠIBENIKU

PROMETNI ODJEL

PREDDIPLOMSKI STRUČNI STUDIJ PROMET

**UPOREBA KATALIZATORA U CILJU SMANJENJA ONEČIŠĆENJA I
DEGRADACIJE ZRAKA**

Završni rad

Kolegij: Promet i ekologija

Mentor: mr.sc. Tanja Radić Lakoš, v. pred.

Student: Ivan Dino Tolić

Matični broj studenta: 141851331

Šibenik, lipanj 2016.

UPOREBA KATALIZATORA U CILJU SMANJENJA ONEČIŠĆENJA I DEGRADACIJE ZRAKA

IVAN DINO TOLIĆ

Donji Vinjani 30, 21260 Imotski, ivan.dino.tolic.hr@gmail.com

Katalizatori su jedna od mjera smanjenja onečišćenja zraka i okoliša općenito. Masovna ugradnja katalizatora u EU počela je u posljednjih desetak godina, te se ta mjera pokazala dosta efektivna. On je dio ispušnog sustava automobila i nalazi se što bliže motoru radi efikasnijeg rada. Važan dio katalizatora je lambda sonda, a njegova glavna zadaća uz smanjenje buke je pročišćavanje štetnih tvari i plinova koje proizvodi motor s unutarnjim izgaranjem. Plinovi koje pročišćava su NO_x, HC i CO, a on ih svojim radom pretvara u NO₂, H₂O i CO₂. Ovi plinovi su dugotrajno gledajući štetni za okoliš i ljudsko zdravlje. Lambda sonda se brine o pravilnom stehiometrijskom omjeru zraka i goriva u cilindru. Benzinski motori imaju bogatu ili siromašnu smjesu goriva, a zadaća lambda sonde je dovoditi omjer zraka i goriva do idealnog. Svojim radom ona upravlja brizgaljkama goriva preko centralnog računala. Njen izgled je sličan svijećici kod benzinskog motora i nalazi se na samom katalizatoru. Kod dieselskog motora je bolja efikasnost lambda sonde jer sam motor proizvodi manje emisije CO i HC. Katalizatori rade u ekstremnim uvjetima i vjek trajanja im je oko 100 000 km ili 5 godina starosti. Postoje razna oštećenja katalizatora zbog rada u takvim uvjetima, ali odlaskom na dijagnostiku lako možemo otkriti probleme. Proizvode se od različitih materijala a najizdržljiviji je metalni koji je otporan na različite udarce. Ugrađuju se i u dieselske motore te se usklađuju s euro normama uz dodatke određenih kemijskih proizvoda. Dovedeni su na visoki nivo kvalitete i efikasnosti. Osim ovih navedenih mjera onečišćenje se može smanjiti i zamjenom dotrajalih vozila, boljom iskorištenosti potrošnje goriva, povećanjem savjesnosti kod ljudi da nepotrebno ne koriste prijevozna sredstva, ulaganjem u javni prijevoz i naravno, unapređenjem sustava za pročišćavanje zraka.

(35 stranica / 19 slika / 19 literaturnih navoda / jezik izvornika: hrvatski)

Rad je pohranjen u: Knjižnici Veleučilišta u Šibeniku

Ključne riječi: katalizator, lambda sonda, onečišćenje zraka

Mentor: mr.sc. Tanja Radić Lakoš, v. pred.

Rad je prihvaćen za obranu:

THE USE OF A CATALYST IN ORDER TO REDUCE AIR POLLUTION AND DEGRADATION

IVAN DINO TOLIĆ

Donji Vinjani 30, 21260 Imotski, ivan.dino.tolic.hr@gmail.com

Catalytic converters are one of the measures to reduce air pollution and the environment in general. Mass installation of catalytic converters in the EU began in the last decade, and this measure proved quite effective. He is part of the exhaust system in cars and is located as close to the engine for better performance. An important part of the catalyst is a lambda probe, but their main task while reducing noise the treatment of pollutants and gases produced by the internal combustion engine. Gases that purifies are NO_x, HC and CO, and they do their work converted to NO₂, H₂O and CO₂. These gases are seeing long-term harmful to the environment and human health. Lambda probe ensures the correct stoichiometric ratio of air and fuel in the cylinder. Gasoline engines have a rich or lean fuel mixture and task of lambda probe is to bring this ratio to the ideal. She manages fuel injectors via ECU. Its appearance is similar to the spark plug on petrol engine and is located at the catalyst. Diesel engine has better efficiency of the lambda probe because the engine produces less emission of CO and HC. Catalysts are working in extreme conditions and their service life is approximately 100 000 km or 5 years of age. There are various damage catalyst because they work in such conditions, but going to the diagnosis, we can easily detect problems. They are produced from different materials and the most durable metal, which is resistant to shocks. They are installed and in diesel engines and adjusted to euro standards with additions of certain chemical products. They were brought to the high level of quality and efficiency. Besides the mentioned measures pollution can be reduced by replacement of old vehicles, better utilization of fuel consumption, increase of conscience in people that are not unduly used means of transport , investing in public transport and of course, the improvement of air purification systems.

(35 pages / 19 figures / 19 references / original in Croatian language)

Paper deposited in: Library of Polytechnic of Šibenik

Keywords: catalyst, lambda probe, air pollution

Supervisor: Tanja Radić Lakoš, MSc, S.Lec.

Paper accepted:

SADRŽAJ:

1. UVOD	2
2. ONEČIŠĆENJE ZRAKA OD STRANE CESTOVNOG PROMETA	4
3. POLOŽAJ KATALIZATORA U AUTOMOBILU	6
3.1. Štetni plinovi u ispušnom sustavu automobila	6
3.1.1. Ugljikov monoksid (CO)	8
3.1.2. Ugljikovodici (HC)	9
3.1.3. Dušikovi oksidi (NO _x)	9
3.2. Vrste katalizatora	11
3.3. Princip rada keramičkog katalizatora	12
4. SASTAV KATALIZATORA	13
4.1. Lambda sonda (λ)	13
4.1.1. Napon λ -sonde	14
4.1.2. Funkcija lambda sonde	14
4.1.3. Princip djelovanja lambda sonde	15
4.1.4. Provjera ispravnosti lambda sonde	15
4.1.5. Vrste lambda sonde	17
5. PROBLEMI I OŠTEĆENJA KATALIZATORA	18
5.1. Fizička oštećenja	18
5.2. Onečišćenje olovom	19
5.3. Greška u radu lambda sonde	20
5.4. Ulazak ulja i antifrizu u prostor izgaranja	20
5.5. Istrošene svijećice ili kablovi svijećica	21
5.6. Višak neizgorenog goriva u ispušnim plinovima	21
5.7. Starenje katalizatora	22
5.8. Načini za dijagnosticiranje ispravnosti katalizatora	22
6. KORIŠTENJE KATALIZATORA KOD MOTORA S UNUTRAŠNJIM IZGARANJEM SA DIESEL GORIVOM	23
6.1. Elementi za pročišćavanje ispušnih plinova Diesellovih motora	24
6.2. AdBlue, EGR i SCR	26
6.3. Oksidacijski katalizator	31
6.4. Akumulacijski katalizator	32
6.5. Filter čestica diesela (DPF)	33

7. ZAKLJUČAK	34
POPIS LITERATURE	35

1. UVOD

„Katalizatori su neizbježan dio ispušnog sustava svakog novog vozila u posljednjih desetak godina. Razlog leži u propisanim ekološkim normama o sastavu ispušnih plinova koje vozila moraju zadovoljavati. Zadnjih nekoliko godina eko test¹ je postao stalni dio procedure pri tehničkom pregledu vozila te je tim ispravnost katalizatora postala neophodna i u Hrvatskoj.“² Današnji način življenja jednostavno nam određuje da moramo imati nekakvo motorizirano prijevozno sredstvo. Međutim, kada se puno motornih vozila nađe na malenoj površini dolazi do toga da zrak postaje zagušljiv i otrovan. Izgaranjem goriva u motorima vozila nastaju ispušni plinovi koji u sebi sadrže preko sto različitih spojeva štetnih za okolinu i ljudsko zdravlje. „Homologacijskim propisima određene su dopuštene granice emisija štetnih tvari i propisane metode ispitivanja sljedećih štetnih sastojaka: ugljičnog-monoksida (CO), ugljikovodika (HC) i dušikovih oksida (NO_x). Kod motora s kompresijskim paljenjem (Diesel-motori) dodatno je još ograničena i količina čestica (PM - eng. *Particulate Matter*; najveći dio njih čini čađa), neprozirnost ispušnih plinova i nemetanski ugljikovodici (NMHC). Kod vozila na pogon s kompresijskim prirodnim plinom ograničena je i količina metana (CH₄) u ispušnim plinovima. Također je ograničena i količina hlapljivih tvari koje vozilo ispušta u atmosferu iz rezervoara i sustava za gorivo.“³ Automobilske emisije se mogu kontrolirati na tri načina. Jedan je težnja ka potpunom sagorijevanju, drugi je povratak viška ugljikovodika natrag u motor gdje će se izvršiti sagorijevanje, i kao treći način je osiguravanje dodatnog prostora za oksidaciju, koji se naziva katalitički pretvornik.

Cilj istraživanja koje je provedeno za pisanje ovog završnog rada je utvrditi u kojoj mjeri ispušni plinovi iz motornih vozila utječu na onečišćenje okoliša, te istražiti učinkovitost sustava koji se koriste za smanjenje tog onečišćenja.

U istraživanju problema korištene su znanstvene metode kao što su: metoda deskripcije, analize, metoda apstrakcije, te metoda kompilacije.

Rad je, pored uvoda i zaključka, podijeljen u pet poglavlja. U prvom poglavlju obrađena je problematika zagađenja okoliša od samog cestovnog prometa. U drugom poglavlju objašnjen je položaj katalizatora, štetni plinovi koje proizvodi motor, vrste

¹ EKO TEST – ispitivanje ispušnih plinova na vozilima pogonjenim benzinskim i dizelskim motorima.

² <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>

³ Šagi, G., Tomić, R., Ilinčić P.: Razvoj propisa o dopuštenim emisijama štetnih tvari iz motora s unutarnjim izgaranjem, Goriva i maziva 48(2), Zagreb, 2009., str. 159-188

katalizatora te njegov princip rada. Treće poglavlje obrađuje sastav katalizatora i detaljno opisuje lambda sondu. Četvrto poglavlje obuhvaća sva oštećenja katalizatora i njihovu dijagnostiku te u posljednjem poglavlju se govori o katalizatorima kod dieselskih motora te o novim propisanim euro normama i mjerama koje idu uz njih.

2. ONEČIŠĆENJE ZRAKA OD STRANE CESTOVNOG PROMETA

Štetan utjecaj cestovnog prometa na okoliš dolazi i iz velikog broja osobnih vozila. „Gotovo svaki treći stanovnik Hrvatske posjeduje osobno vozilo, odnosno na 1000 stanovnika registrirano je 336 osobnih vozila i samim time, štetan utjecaj na okoliš koji dolazi iz tolikog broja vozila u prometu“.⁴ Rast emisija je stalan a rezultat je globalno zagrijavanje, odnosno može doći do podizanja razine mora i promjene klime na zemlji. Prometom uzrokovane emisije dušikovih oksida i hlapivih organskih spojeva uzrokuju stvaranje ozona; još jednog uzročnika promjena globalne klime.⁵ Zbog gospodarskog rasta i ukupnog razvoja cestovni promet naglo raste te su naglo narasli i problemi okoliša. Očekuje se daljnje povećanje uporabe zemljišta za potrebe prometne infrastrukture, višim razinama onečišćenja vode, uništavanje staništa, gubitak bioraznolikosti i narušavanje zajednica. Promet zauzima zelene površine, vitalne dijelove prostora u prenapučenim područjima te uzrokuje vizualnu degradaciju prirodnog i gradskog prostora. Promet je vrlo značajan izvor emisije CO₂. Međutim, velike promjene se ne mogu postići više povećanjem efikasnosti postojeće tehnologije, jer je na tom području već mnogo učinjeno u zadnjih 20 godina od naftne krize.

Tijekom devedesetih, automobilska je industrija pod pritiskom kalifornijskih zakona ulagala u električne automobile, međutim pokazalo se da ta tehnologija neće postati komercijalna, jer nisu razvijeni akumulatori koji bi zadovoljavali potrebe tržišta za pokretnošću. „Krajem devedesetih se ubrzao razvoj automobila pogonjenih vodikom, i to s motorima s unutrašnjim izgaranjem i gorivim ćelijama. Motori s unutrašnjim izgaranjem na vodik su u uznapredovanoj fazi razvoja, tj. postojeći motori koji koriste plin mogu se relativno jednostavno preraditi na vodik.“⁶

Emisije dušičnih oksida, ugljičnog monoksida, krutih čestica i hlapljivih organskih spojeva unatoč svim poduzetim mjerama ne mogu se lako smanjiti zbog neprekidnog povećavanja broja vozila. Razina emisija onečišćujućih tvari u zrak može se smanjiti uvođenjem vozila s katalizatorom, „pomlađivanjem“ voznoga parka te provedbom propisa koji reguliraju kvalitetu goriva (smanjenje dopuštenog udjela olova i sumpora u benzinu).

⁴ Likić, J.: Koliko cestovni promet zagađuje zrak u Hrvatskoj. Dostupno na: <http://biologija.com.hr/modules/AMS/article.php?storyid=8609>

⁵ <http://www.energetika-net.com/vijesti/zastita-okolisa/oneciscenje-zraka-iz-cestovnog-prometa-13358>

⁶ http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETIKA_I_OKOLI%C5%A0

2.1. Katalizator i ispušni sustav kao mjera smanjenja zagađenja

„Ispušni sustav je sustav cijevi koji odvodi plinove koji nastaju izgaranjem goriva izvan motora vozila. Kako u kojem vozilu, sustav se može sastojati od jedne ili više cijevi te još niza dijelova. Osim što odvodi plinove nastale izgaranjem goriva izvan motora, također i smanjuje buku nastalu njihovim izgaranjem. Radi se o veoma važnom sustavu na automobilu zbog kojeg, ukoliko ne radi pravilno, možete i pasti na tehničkom pregledu vozila budući da svako vozilo mora proći eko test, ili test o tome koliko njegovo vozilo ispušta štetnih plinova u atmosferu“.⁷ Ovaj je test direktno povezan upravo s ispušnim sustavom te se određeni standardi za svaki tip vozila moraju poštovati. Ovaj dio vozila često se kvvari i to upravo iz razloga jer se mnogo troši. Posebno je ovo izraženije otkad je cijelom sustavu pridodan i katalizator koji služi za pročišćavanje štetnih plinova. „Ispušni sustav proteže se od motora, preko središnjeg dijela poda vozila, a završava upravo auspuhom. Jedan od glavnih dijelova cijelog sustava je tako zvani lonac. Kada bismo ga prerezali po pola vidjeli bismo da u sebi ima nekoliko pregrada te izolacijski materijal koji sprječavaju da se plinovi direktno prazne prema ispuhu ili, popularnom zvanom, auspuhu. Sve ovo motoru uzima snagu, ali ga i stišava. Dakle jedna od pozitivnih stvari cijelog ispušnog sustava uz to što pročišćava štetne plinove iz motora je smanjenje buke koje proizvodi vozilo. Sportski motori zato su mnogo bučniji jer se s njih skida sve što im dodatno uzima snagu.“⁸

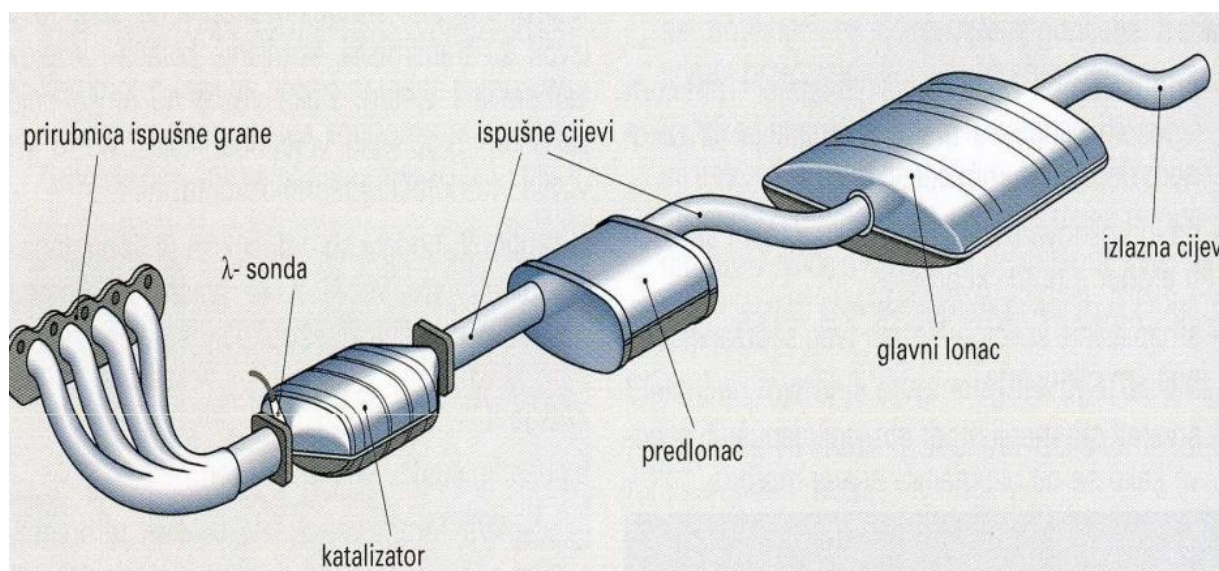
⁷ <https://www.silux.hr/motorsport-vijesti/15/komponente-ispusnog-sustava-i-njegove-funkcije>

⁸ <https://www.silux.hr/motorsport-vijesti/15/komponente-ispusnog-sustava-i-njegove-funkcije>

3. POLOŽAJ KATALIZATORA U AUTOMOBILU

„Svi su moderni benzinski motori opremljeni katalizatorom.“⁹ U većini slučajeva ispušna grana se sastoji od dva ispušna lonca. Katalizator je redovno smješten u prvom ispušnom loncu do motora i zahvaljujući materijalu od kojeg je napravljen u njemu se odvija kemijska pretvorba štetnih plinova iz ispuha. Razlog položaja katalizatora u blizini motora je taj što lakše postiže temperaturu na kojoj ima najbolju efikasnost pročišćavanja štetnih tvari koje dolaze u ispušnim plinovima koje proizvodi motor.

Slika 1. Položaj katalizatora u automobilu.



Izvor:

http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ispuh.pdf

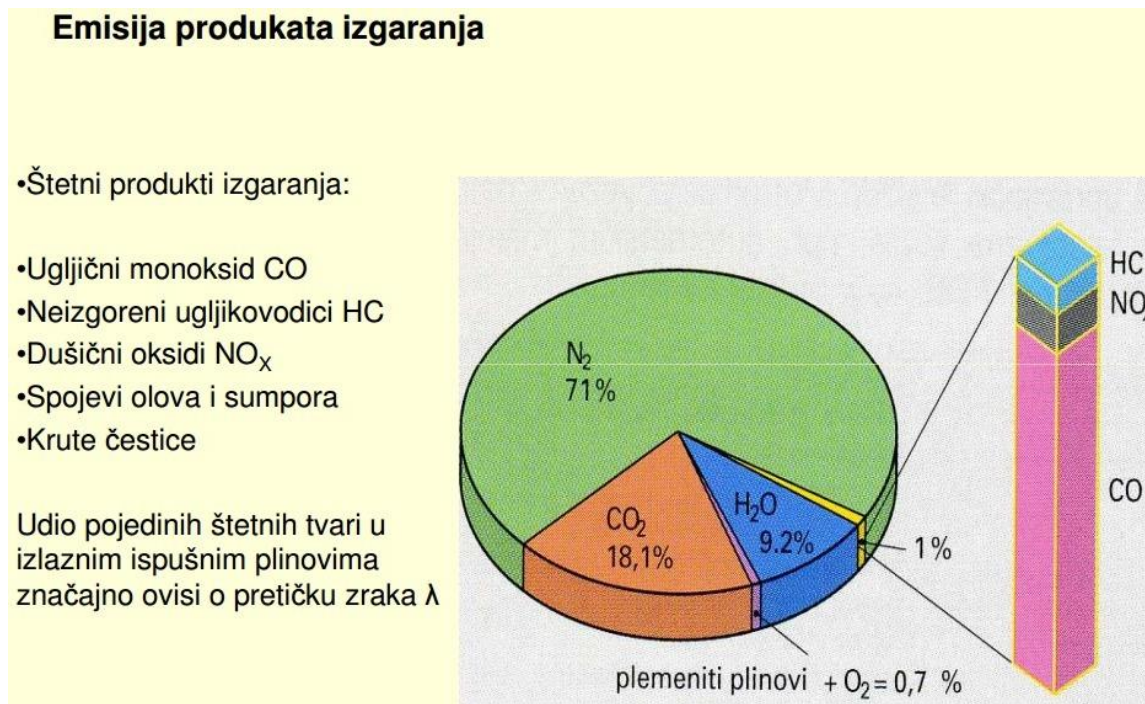
3.1. Štetni plinovi u ispušnom sustavu automobila

Štetni plinovi koje proizvodi motor su CO, HC i NO_x¹⁰. Oni se pomoću kemijske pretvorbe koja se odvija u katalizatoru pročišćavaju u neškodljive plinove CO₂, H₂O i N₂. Naravno, takva reakcija ne pročišćava plinove u potpunosti, ali doprinosi smanjenju štetnih sastojaka.

⁹ Eko-test, Stručni bilten br.87., Centar za vozila Hrvatske d.o.o., Zagreb, 2000. Dostupno na: <https://www.scribd.com/doc/196747111/Ispitivanje-Izduvnih-Gasova-Motornih-Vozila>

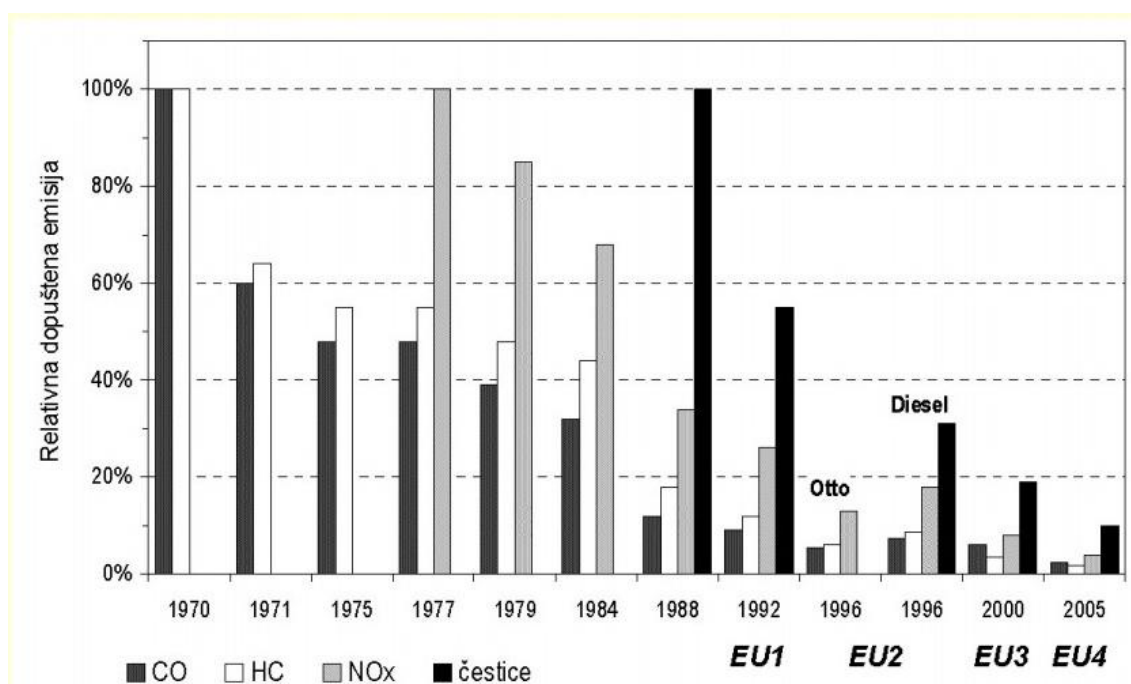
¹⁰ CO- otrovni plin bez boje i mirisa; HC- neizgoreni ugljikovodici koji pridonose stvaranju smoga; NO_x- dušikovi oksidi aktivni pri nastajanju kiselih kiša

Slika 2. Emisija produkata izgaranja



Izvor: http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ispuh.pdf

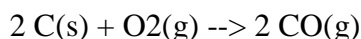
Slika 3. Emisija štetnih ispušnih plinova



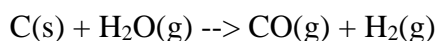
Izvor: http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ispuh.pdf

3.1.1. Ugljikov monoksid (CO)

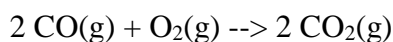
Ugljikov(II) oksid (ugljikov monoksid) kemijski je spoj jednog atoma ugljika i jednog atoma kisika, formulom izraženo CO. To je plin bez boje i mirisa koji nastaje nepotpunim izgaranjem tvari u kojima ima ugljika, te je jako otrovan jer se veže na hemoglobin u krvi čime sprječava prijenos kisika (često zvan "tihi ubojica"). Ugljikov(II) oksid nastaje najčešće nepotpunom oksidacijom ugljika iz fosilnih goriva.



U prirodi se pojavljuje kao sastojak vulkanskih plinova. To je vrlo otrovan plin, bez boje i mirisa, nešto lakši od zraka. Slabo je topljiv u vodi, ubrajamo ga u neutralne okside, a gori svijetloplavim plamenom. Važna je industrijska sirovina. Pri povišenoj temperaturi i tlaku vrlo je reaktivan, lako se oksidira, pa se koristi kao reducens, posebno u metalurgiji za dobivanje metala iz oksidnih ruda. Ugljikov monoksid dobiva se najčešće u smjesi s drugim plinovima kao generatorski plin (gorivo oko 1100 kcal/m³, sadrži 30% CO i 60% N₂) ili vodeni plin, koji nastaju provođenjem zraka ili vodene pare preko užarenog koksa.



Oba plina se često upotrebljavaju kao industrijsko gorivo zbog velike egzotermnosti izgaranja ugljikova(II) oksida.



Ugljikov monoksid čuva se pod tlakom u posudama od bakra, aluminijske ili nikla i njihovih slitina, tj. tvari s kojima ne tvori otrovne spojeve. Ugljikov monoksid je krvni otrov, budući da je afinitet ugljikova(II) oksida prema hemoglobinu 200-300 puta veći od afiniteta kisika. Vezanje ugljikova(II) oksida za hemoglobinsko željezo onemogućava vezanje kisika i na taj način sprječava normalnu opskrbu stanica kisikom. Znakovi trovanja su: glavobolja, vrtoglavica, lupanje srca, opća slabost, šum u ušima, a mogu se javiti: apatija, zbunjenost, nesvjestica i grčenje. Ako je volumni udio ugljikova(II) oksida u zraku 0,2 do 0,4%, dolazi do gubitka svijesti, a nakon duljeg vremena i do smrti. Prva pomoć pri trovanju ugljikovim(II) oksidom je iznošenje otrovanoga na svjež zrak, umjetno disanje i udisanje kisika. Već je 100

ppm¹¹ CO u zraku štetno po zdravlje. Sadržaj ugljikova(II) oksida, ali i drugih štetnih plinova u zraku određuje se pomoću posebnih indikatorskih cjevčica. Određeni volumen plina koji se ispituje provlači se kroz cjevčicu pomoću posebne pumpice. U cjevčicama je na površinu porozne mase nanesen specifičan reagens koji mijenja boju ako se u zraku nalazi ispitivani plin. Nakon 10 usisaja pumpicom na cjevčici se izravno odčita sadržaj tog plina u 1m³ zraka.¹²

3.1.2. Ugljikovodici (HC)

Ugljikovodici su organski kemijski spojevi ugljika i vodika. Sastoje se od "kostura" atoma ugljika na koje su vezani atomi vodika (i drugih elemenata). Ugljikovodici se dijele prema obliku ugljikovog "kostura", dalje uglavnom po zasićenosti na acikličke (alifatski) u kojima atomi ugljika čine lančaste molekule i na cikličke gdje atomi ugljika čine prstenaste molekule. Ugljikovodici u ispušnom sustavu automobila pridonose stvaranju smoga i jedan su od tri otrovna plina u ispušnim sustavima, točnije neizgoreni ugljikovodici. U samom motoru automobila oni nastaju kao smjesa kancerogenih spojeva ugljika i vodika. Neugodnog su mirisa, nastaju pri nepotpunom izgaranju zbog manjka kisika.

3.1.3. Dušikovi oksidi (NO_x)

Dušikovi oksidi su niz spojeva dušika i kisika opće formule NO_x (x = 0,5 do 2) koji nastaju oksidacijom atmosferskoga dušika pri visokim temperaturnim izgaranjima (industrijski procesi) ili pod utjecajem elektromagnetskoga izboja (munje, kozmičke zrake). Dušikovi oksidi zagađuju zrak u gradovima, gdje nastaju u automobilskim motorima spajanjem kisika i dušika (oko 2 g po kilometru prijeđenog puta). Osim dušikova(I) oksida (N₂O), svi dušikovi oksidi, prisutni u atmosferi, u manjoj su ili većoj mjeri otrovni i nadražuju ljudske dišne organe. Oni su glavna komponenta zagađenja atmosfere, uključeni u stvaranje kiselih kiša i fotokemijskoga smoga te stvaranje i razgradnju ozonskoga sloja u stratosferi. U prirodnom ciklusu dušika, dušikovi oksidi su bitna sastavnica nitrifikacije.

¹¹ (eng.: parts per million) upotrebljava se za izražavanje koncentracije u relativnim proporcijama i bezdimenzionalna je veličina. Jedan ppm predstavlja jedan dio na 1000000 dijelova ili vrijednost 10⁻⁶.

¹² Simeon, V.: Hrvatska nomenklatura anorganske kemije, Školska knjiga, Zagreb, 1996., str. 59.

Važnu skupinu dušikovih spojeva čine mnogobrojni oksidi u kojima dušik ima pozitivne oksidacijske brojeve od I do V:

-dušikov(I) oksid (N_2O , didušikov oksid, zastarjeli nazivi dušikov oksidul i dušikov suboksid, tzv. rajski plin),

-dušikov(II) oksid (NO ; dušikov monoksid),

-dušikov(III) oksid (N_2O_3 ; didušikov trioksid),

-dušikov(IV) oksid (NO_2 ; dušikov dioksid),

-dušikov(V) oksid (N_2O_5 ; didušikov pentoksid),

-didušikov tetroksid (N_2O_4)

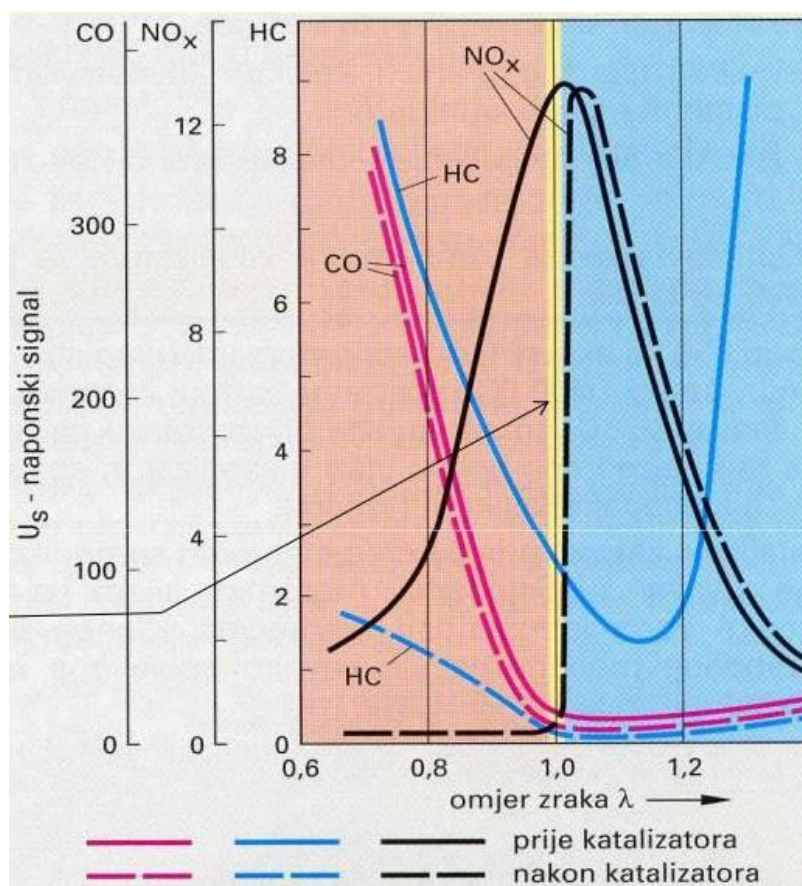
Polaganom oksidacijom s kisikom iz zraka nastaje dušikov(IV) oksid. Djelovanjem sunčevog svjetla dušikov(IV) oksid se raspada na dušikov oksid i atomni kisik koji s molekulskim kisikom daje ozon. Dušikov(II) oksid i dušikov(IV) oksid vrlo su otrovni i nastaju reakcijom dušika s kisikom u električnom luku. Ista reakcija se događa u atmosferi pojavom munje. Dušikov trioksid i didušikov pentoksid anhidridi su dušikaste (odnosno dušične) kiseline.¹³

¹³ Hrvatska enciklopedija, Broj 3 (Da-Fo), Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2001., str. 314.

3.2. Vrste katalizatora

Do pojave tzv. reguliranih katalizatora postojali su različiti katalizatori (oksidacijski, redukcijski), međutim danas se isključivo upotrebljavaju regulirani jednostruki ili višestruki katalizatori s trostrukim djelovanjem. Zato ih zovemo trostupnjevani katalizatori. Pojam jednostrukog ili dvostrukog katalizatora označava u koliko kućišta je smješten katalizator. Ako se katalizator nalazi u jednom kućištu onda je riječ o jednostrukom katalizatoru, a ako je katalizator podijeljen u dva kućišta onda je riječ o dvostrukom katalizatoru. Upotreba katalizatora je najefektivnija metoda uklanjanja štetnih plinova, a njihova efektivnost iznosi oko 90%.¹⁴

Slika 4. Redukcija štetnih tvari.



Izvor:

http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ispuh.pdf

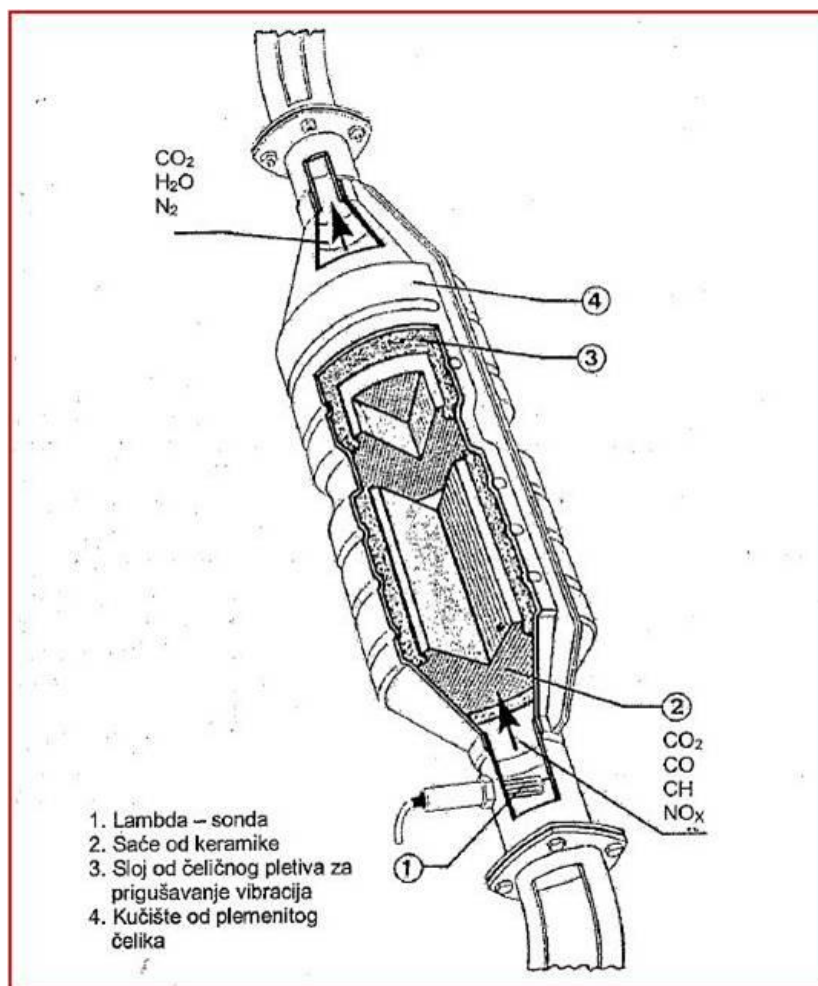
Crna isprekidana linija označava tzv. λ prozor.

¹⁴ <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>

3.3. Princip rada keramičkog katalizatora

„Princip rada keramičkog katalizatora sastoji se od pretvaranja štetnih plinova iz ispušnog sustava. On reducira NO_x u N a oslobađa se O₂, CO oksidira u CO₂ a HC oksidira u CO₂ i H₂O. Katalizator mora postići radnu temperaturu, a motor mora raditi s približno stehiometrijskom smjesom goriva u uskom rasponu $\lambda = 0,99-1$. Sastoji se od kanalića keramičkog nosača Al- Mg silikata presvučen vrlo tankim međuslojem na kojeg se napanjanjem nanosi aktivni sloj (platina, rodij, paladij).“¹⁵ Optimalna temperatura katalizatora je 400 do 800 °C.

Slika 5. Izgled katalizatora



Izvor: <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>

¹⁵ www.autoispuh.hr/tehnika.php?kateg=2

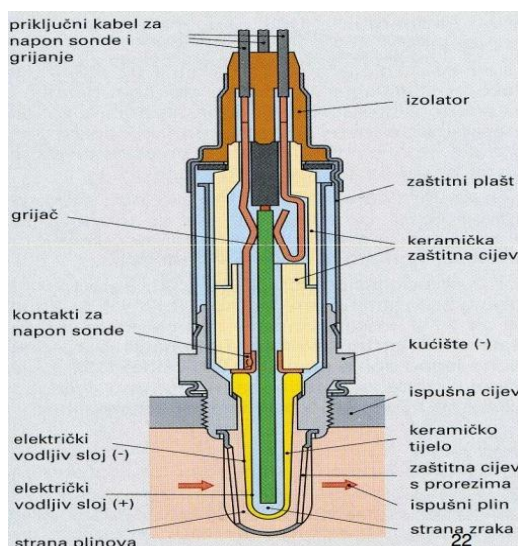
4. SASTAV KATALIZATORA

Katalizator se sastoji od lambda sonde, keramičkih saća (mogu biti metalne, ali to je rijetkost), kućišta od plemenitog čelika i sloja od čeličnog pletiva radi smanjenja vibracije.

4.1. Lambda sonda (λ)

Lambda sonda je neizostavni element ispušnih sustava motornih vozila pogonjenih Otto motorom. Lambda sonda je senzor količine kisika u ispušnim plinovima te sudjeluje kao regulacijski element pri pripremi gorive smjese. Ona je mjerni osjetnik, a ugrađuje se ispred katalizatora te u ovisnosti o koncentraciji slobodnog kisika daje odgovarajući naponski signal kojeg obrađuje upravljački sklop. „Signal se uspoređuje s referentnom vrijednosti gdje je $\lambda=1$ što odgovara naponu 500 mV. Viši napon od 500 mV znači malo slobodnog kisika u ispušnim plinovima (bogata smjesa), a niži napon od 500 mV znači više slobodnog kisika¹⁶ (siromašna smjesa). Omjer goriva i zraka mora biti idealan u smislu da nakon izgaranja u cilindru ne ostane neizgorenog goriva ili obrnuto, da ne bude viška kisika odnosno zraka. Idealan omjer obično iznosi 14,7 : 1 (14,7 kg zraka na kilogram goriva) te se deklarira pomoću lambda (λ) faktora koji iznosi 1.

Slika 6. Presjek lambda sonde



Izvor:

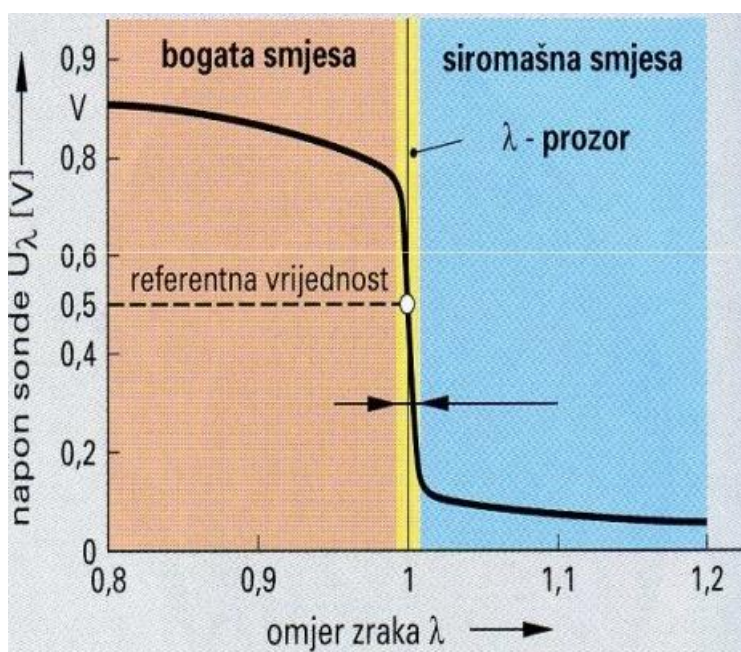
http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ispuh.pdf

¹⁶ www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ispuh.pdf

4.1.1. Napon λ -sonde

„ λ -sonda se sastoji iz keramičkog plinonepropusnog tijela (iz cirkonijdioksida) s obje strane presvučenog tankim mikroporoznim slojem platine.“¹⁷ Vanjska površina sonde izložena je ispušnim plinovima a unutrašnja okolnim zrakom. Vanjska površina ima minus pol a unutrašnja plus pol. Keramika λ -sonde na temperaturi većoj od 300 °C postaje vodljiva za ione kisika. Različita koncentracija slobodnog kisika u ispušnim plinovima stvara napon od 100 do 800 mV i uspoređuje se s referentnim naponom od 500 mV ($\lambda=1$).

Slika 7. Napon λ sonde



Izvor: http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ishuh.pdf

4.1.2. Funkcija lambda sonde

Funkcija lambda sonde je upravo da detektira odstupanja lambda faktora u ispušnim plinovima od idealne vrijednosti, te omogući računalu da ovisno o tomu regulira količinu ubrizganog goriva u usisne cijevi. Dakle, u slučaju gorivom zasićene smjese smanjuje se količina ubrizganog goriva i obratno. Održavanjem lambda faktora u blizini idealne vrijednosti poboljšava se učinkovitost katalizatora.

¹⁷ www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ishuh.pdf

4.1.3. Princip djelovanja lambda sonde

Lambda sonda je obično umetnuta u ispušni sustav na način da je njen vrh u stalnom kontaktu sa ispušnim plinovima. Na osnovu podataka što dolaze iz lambda sonde centralno računalo vozila određuje količinu ubrizganog goriva u realnom vremenu održavajući lambda faktor stalnim. Problem predstavlja podatak da lambda sonda tek pri radnim temperaturama većim od 270 °C počinje vršiti svoju funkciju. Stoga danas lambda sonde dolaze sa ugrađenim grijačima i postavljaju se što bliže motoru, a sve u svrhu što ranijeg početka djelovanja regulacijskog kruga motora.

4.1.4. Provjera ispravnosti lambda sonde

Lambda sonda je izložena radu u ekstremnim uvjetima te je stoga sklona kvarovima koji mogu ugroziti ispravan rad motora i smanjiti radnu učinkovitost katalizatora. Prilikom inspekcije ispušnog sustava potrebno je provjeriti sljedeće stvari na lambda sondi: „1. Oštećenja na signalnim žicama, 2. Ulaz zraka blokiran prljavštinom, uljem ili elementima podvozja, 3. Fizička oštećenja na tijelu sonde, 4. Ispravnost navoja na sondi, 5. Oštećenja na vrhu sonde ili zamazanost“¹⁸

Slika 8. Djelovi lambda sonde



Izvor: http://www.autoispuh.hr/cms_upload/upload/thumbs/djelovi1.jpg

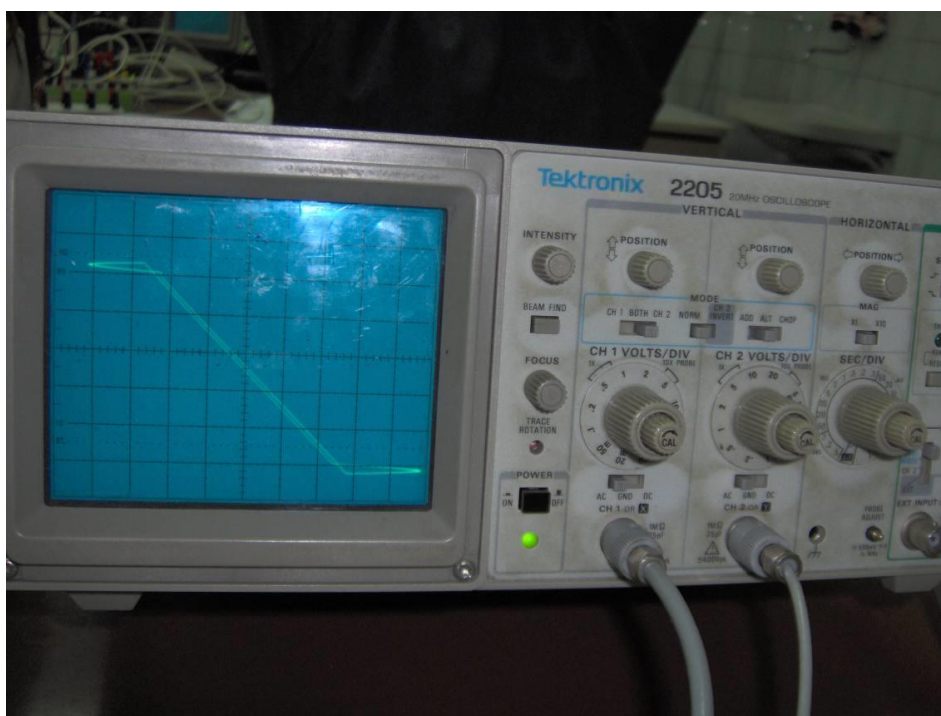
¹⁸ <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php?kateg=4>

Posebno je važno da vrh sonde bude čist i na taj način ne sprječava dodir jezgre sa ispušnim plinovima. Onečišćenost vrha može ukazivati na neispravnosti u radu motora. Moguće su sljedeće naslage na vrhu sonde:

- crna boja ukazuje na naslage ugljika u obliku čađe
- sjajne naslage su znak na onečišćenje olovom iz goriva
- naslage bijele poput krede posljedica su onečišćenja silikonom
- tamno- smeđe naslage su naslage ulja u ispušnim plinovima
- kristalne bijele naslage ukazuju na prisutnost antifrizu u ispušnim plinovima

„Osciloskopom¹⁹ ili posebnim mjernim uređajima moguće je dijagnosticirati neispravnost rada lambda sonde ako su vanjska oštećenja nevidljiva.“²⁰ U slučaju otkrivenih neispravnosti pri radu lambda sonde potrebno je čim prije zamijeniti neispravnu sondu!

Slika 9. Osciloskop



Izvor:

http://www.google.hr/imgres?newwindow=1&sa=X&rlz=1C1CHMO_hrHR557HR558&espd=210&es_sm=93&biw=1366&bih=624&tbm=isch&tbnid=PN2_xQkGlfse5M%3A&imgrefurl=http%3A%2F%2Fsk.wikipedia.org%2Fwiki%2FOsciloskop&docid=rHD1Z6d1yVg2OM&imgurl=http%3A%2F%2Fupload.wikimedia.org%2Fcommons%2F%2F%2FOsciloskop_x-y.jpg&w=1136&h=852&ei=hoQwU4unB-PiywP52ICQCw&zoom=1&ved=0CGIQhBwwAg&iact=rc&dur=385&page=1&start=0&ndsp=5

¹⁹ Osciloskop- je elektronički uređaj koji stvara dvo-dimenzionalni graf jedne ili više električnih potencijalnih razlika. Vodoravna linija predstavlja vrijeme, dok uspravna predstavlja električni napon.

²⁰ www.autoispuh.hr/tehnika.php?kateg=4

4.1.5. Vrste lambda sondi

Postoje dvije osnovne vrste lambda sondi prema tipu signala koji daju na izlazu: dvostupanjska lambda sonda i širokopojasna lambda sonda. Dvostupanjska lambda sonda može evidentirati samo da li je smjesa u bogatom ($\lambda < 1$) ili siromašnom području ($\lambda > 1$). Točnu vrijednost faktora zraka ovom sondom nije moguće odrediti. „Ovakve lambda sonde su najčešće na motorima, a kao izlazni signal mogu davati napon u području od 0 do 1V ili u području do 5V. Lambda sonda je napravljena od keramičkog osjetnika (cirkonijev oksid) u obliku cijevi koja je na kraju koji se nalazi u ispušnom plinu zatvorena. Vanjska strana keramičkog osjetnika (vanjski plašt) izložena je struji ispušnoga plina, a unutarnja strana okolnom zraku.“²¹ Na ovim površinama se ovisno o količini kisika u ispuhu pojavljuje električni napon. Širokopojasna lambda sonda precizno može odrediti faktor zraka u vrlo širokom području rada motora pa mora biti ugrađena na benzinskim motorima s direktnim ubrizgavanjem benzina, a u budućnosti će se ugrađivati i na dizelske motore.

Da bi lambda sonda funkcionirala vrlo je važno da bude zagrijana na radnu temperaturu. Počinje funkcionirati pri približno 350°C (5V lambda sonda od 500°C), a najpovoljniji režim rada je oko 850°C. Stoga se postavlja što bliže motoru kako bi hladna faza rada trajala što kraće ili se postavlja sonda s vlastitim zagrijavanjem (ovo je danas uobičajeno), da bi u oba slučaja, bile sposobne funkcionirati neposredno nakon starta motora. Motori se opremaju boljim sustavima paljenja i pripreme smjese, koje je moguće nadzirati elektronskim putem, pomoću računala, te se na taj način sve potrebne promjene izvode s najmanjom mogućom tromosti.²²

²¹ www.katalizator.hr/#!untitled/ckcr

²² <http://www.autoispuh.hr>

5. PROBLEMI I OŠTEĆENJA KATALIZATORA

Postoje mnogi razlozi otkazivanja katalizatora. Vrlo je važno da se prigodom zamjene katalizatora utvrdi i razlog otkazivanja katalizatora kako bi se izbjegao ubrzani kvar zamjenskog katalizatora. Treba naglasiti da se i najkraćom upotrebom benzina sa sadržajem olova nepopravljivo uništava katalitički pretvornik. Njegov se učinak smanjuje na tako nisku razinu da je njegovo postojanje praktički beskorisno. „Učinak katalizatora je zadovoljavajući do 100.000 km ili 5 godina, nakon toga treba ispitati njegovo stanje i učinkovitost.“²³ Osim olova, do brzog uništavanja katalizatora dovodi i prisutnost ne sagorjelog benzina u katalizatoru. Temperatura u katalizatoru je oko 800° C i dovoljno je da u katalizator ulazi benzin 30 sekundi, da bi počeli procesi taljenja i uništavanja uređaja. Dovoljno je i nekoliko sekundi kako bi nastale nepopravljive štete. Zbog toga je vrlo važno da sustav paljenja bude uvijek ispravan i učinkovit. Na tržištu postoje i zamjenski katalizatori koji su znatno jeftiniji od originala, prilikom nabave treba biti vrlo oprezan jer mnogi takvi katalizatori kvalitativno ne zadovoljavaju. Zamjena samog katalizatora ne oduzima mnogo vremena i vrlo je jednostavna ako imamo potrebne uvjete za rad. Kvaliteta i izvedba katalitičkog pretvornika vidi se i po broju rupica na saćama. Jednostavniji ih imaju oko 100 na kvadratni centimetar, a kvalitetniji i do 300. Kada je razvijena, odnosno aktivna površina katalizatora jednaka površini nogometnog igrališta. Jaki udari u kućište katalizatora mogu uzrokovati oštećenja keramičkog monolita.

5.1. Fizička oštećenja

Jaki udari u kućište katalizatora mogu uzrokovati oštećenja keramičkog monolita. Keramički se monolit može izlomiti i nošen ispušnim plinovima začepiti u stražnjim dijelovima ispušnog sustava uzrokujući na taj način otežan rad motora. Fizička oštećenja su najčešći uzrok problema sa katalizatorima danas. Metalni monoliti su gotovo u potpunosti otporni na taj oblik oštećenja.

Najjednostavniji način za pronalaženje ovog problema je da pokušamo pronaći udubine i ogrebotine na kućištu katalizatora ili zvonjavu unutar ispušnog sustava uzrokovanu

²³ <https://www.scribd.com/doc/196747111/Ispitivanje-Izduvni-Gasova-Motornih-Vozila>

odlomljenim dijelovima. Također i neispravni nosači ispušnog sustava odnosno motora uzrokuju vibracije koje mogu oštetiti monolit.

Rješenje ovog problema može biti zamjena postojećeg katalizatora novim ili promjena nosača koji stvaraju buku i vibracije.

Slika 10. Fizičko oštećenje katalizatora



Izvor: http://www.autoispuh.hr/cms_upload/upload/thumbs/fizicka_ostecenja.jpg

5.2. Onečišćenje olovom

Kako bi se izbjeglo onečišćenje katalizatora olovom neophodno je koristiti bezolovna goriva. „Naime, olovo stvara tanki film na aktivnoj površini katalizatora koji onemogućuje odvijanje procesa redukcije i oksidacije. Jedan ili dva puna tanka goriva s olovom su već dostatni za osjetnu degradaciju radne učinkovitosti katalizatora.“²⁴

Pronalaženje ovog problema možemo vidjeti po razini trovanja, odnosno učinkovitosti katalizatora koja je proporcionalna količini nataloženog olova u katalizatoru. Pomoću specijalnih detektora olova može se utvrditi onečišćenost katalizatora olovom. U slučajevima onečišćenja i od nekoliko miligrama potrebno je zamijeniti katalizator. Jedino rješenje je zamjena oštećenog katalizatora novim.

²⁴ <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>

5.3. Greška u radu lambda sonde

„Greška u radu lambda sonde vodi do stvaranja gorive smjese u kojoj udjeli goriva i benzina odstupaju od idealnog stehiometrijskog omjera pri kojem je funkcija katalizatora maksimalno iskorištena.“²⁵ Ako je smjesa prebogata gorivom nastaje problem ulaska neizgorenog goriva u sastav ispušnih plinova, a ako je presiromašna gorivom vozilo gubi na snazi. U tom slučaju katalizator ne obavlja zadovoljavajuće svoju funkciju te ne prolazi na eko-testu (previsok NOx u ispušnim plinovima). Pronalaženje ovog problema može se vidjeti tako što se neispravan lambda faktor može utvrditi na rezultatima eko-testa, dok se neispravnost lambda sonde provjerava specijalnim aparatima za tu namjenu. Rješenje problema je zamjena lambda sonde jer zamjena katalizatora neće donijeti nikakve promjene.

5.4. Ulazak ulja i antifrizu u prostor izgaranja

Ulje i antifriz koji greškom uđu u sastav ispušnih plinova mogu zapriječiti prolaz ispušnim plinovima u katalizatoru stvarajući guste obloge čađe unutar samog punjenja katalizatora. Neizgoreni ugljik u obliku čađe nataložen u katalizatoru stvara slijedeće probleme. Kao prvo, „naslage čađe onemogućuju odvijanje primarne funkcije katalizatora – smanjenja količine štetnih tvari (HC, CO, NOx) u ispušnim plinovima, te, kao drugo, zagušuju sitne rupice u punjenju katalizatora i na taj način blokiraju prolaz ispušnim plinovima, stvarajući povećani povratni pritisak u ispušnom sustavu. Posljedica toga su povećana toplinska opterećenja motora – time i kraći vijek trajanja, te povratak ispušnih plinova natrag u cilindar što znatno smanjuje korisnost procesa koji se odvija u cilindru i samim time manju snagu motora uz povećanu potrošnju goriva.“²⁶ Uzroci tomu mogu biti istrošene karike na klipovima, istrošene gumice na ventilima ili neispravna brtva na glavi motora. Zamjena katalizatora je privremeno rješenje jer potrebno je ukloniti problem koji uzrokuje ulazak ulja u ispušni sustav.

²⁵ <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>

²⁶ <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>

5.5. Istrošene svijećice ili kablovi svijećica

„Svijećice koje ne stvaraju iskru ili pak to čine u krivi trenutak, razlog su ulazu neizgorenog goriva u sastav ispušnih plinova. Neizgoreno gorivo u ispušnim plinovima izgara u katalizatoru zbog visokih temperatura odvijanja redukcijskih i oksidacijskih procesa u njemu, te još više povisuje vršne temperature procesa, koje pogoduju rastapanju i raspadanju punjenja samog katalizatora.“²⁷ Ispravnost svijećica i kablova svijećica trebalo bi redovito provjeravati i mijenjati u slučaju eventualnih neispravnosti. Zamjena katalizatora je privremeno rješenje jer potrebno je zamijeniti neispravne svijećice odnosno kablove kako bi se izbjegao ponovni kvar katalizatora.

5.6. Višak neizgorenog goriva u ispušnim plinovima

Gorivo koje izgara i na taj način daje snagu motora, predviđeno je da u potpunosti izgara u cilindru. Višak goriva koji ne stigne izgoriti u cilindru ulazi u sastav ispušnih plinova, te izgara u trenutku kad ispušni plinovi dođu do katalizatora. gdje je ujedno i najviša temperatura u cijelom ispušnom sustavu. To neželjeno izgaranje dodatno zagrijava katalizator do ekstremno visokih temperatura koje dovode do otapanja keramičkog punjenja katalizatora. „Mogući razlozi neispravnog omjera u zraka i benzina u gorivoj smjesi mogu biti slijedeći: nepravodoban trenutak paljenja svijećice, korodirani visokonaponski kablovi svijećica, neispravan senzor kisika u ispušnim plinovima (lambda sonda), neispravna brizgaljka goriva ili neispravni senzori rada motora.“²⁸

Problem možemo primjetiti u neispravnom radu motora, gubitku snage i okretnog momenta, te čađe u ispušnim plinovima

Mogući razlozi neispravnog omjera u zraka i benzina u gorivoj smjesi mogu biti slijedeći: nepravodoban trenutak paljenja svijećice, korodirani visokonaponski kablovi svijećica, neispravan senzor kisika u ispušnim plinovima (lambda sonda), neispravna brizgaljka goriva ili neispravni senzori rada motora.

²⁷ <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>

²⁸ <https://www.scribd.com/doc/196747111/Ispitivanje-Izduvni-Gasova-Motornih-Vozila>

5.7. Starenje katalizatora

Tijekom godina rada katalizatori gube svoju učinkovitost. Razni aditivi goriva i ulja, čestice metala i smeća u ispušnim plinovima te općeniti zamor materijala u katalizatoru uzrokuju smanjenje radne učinkovitosti, a samim time i porast štetnih tvari u ispušnim plinovima. Zamjena katalizatora najbolje je rješenje problema, a kao prevencija preporučuje se redoviti servis vozila i korištenje aditiva koji su označeni kao *CAT friendly*.

5.8. Načini za dijagnosticiranje ispravnosti katalizatora

Tri su najčešća i najjednostavnija načina za dijagnosticiranje ispravnosti katalizatora. Prvi, vrlo neugodan miris iz ispuha, javlja nam kako se u katalizatoru odvija kemijski proces te je katalizator u najvećem postotku ispravan. Drugi, zvuk ispod vozila, podsjeća na zvrckanje kamenčića u kanti, kazuje nam da se šamotni uložak raspao u više komada koji vibriraju unutar limenog plašta a mogu uzrokovati začepljenje ispušne cijevi. Treći način je utvrđivanje neispravnosti mjernim instrumentima na tehničkom pregledu vozila ili radionici. Na dizel vozilima, može doći do začepjenja katalizatora a posljedica je tromost vozila. Naime, originalni katalizatori isporučuju se sa pripadajućim cijevima, koje su nerijetko vrlo složene a trajnost im je daleko veća nego katalizatora, čiji je vijek trajanja između 50 i 80 tisuća kilometara, a u rijetkim slučajevima i duže.

6. KORIŠTENJE KATALIZATORA KOD MOTORA S UNUTRAŠNJIM IZGARANJEM SA DIESEL GORIVOM

Konstrukcija katalizatora kod diesellovih motora je drugačija zbog toga što su oni predviđeni za reakcije redukcije u svrhu smanjenja količine NO_x – dušikovih oksida, koja je povećana kod diesel motora. Emisije HC i CO kod diesel motora su zanemarive.

U općenitom značenju "Kat" označava kompletan sustav katalitičkog pročišćavanja ispušnih plinova u motornim vozilima. U njemu se nalazi djelotvoran kemijski katalitički materijal (najčešće plemeniti metali kao što su platina i rodij), keramičko ili metalno kućište i ovisno o konstrukciji, različite regulacijske naprave za upravljanje cijelim procesom. Ovisno o konstrukciji katalizator oksidira ugljični monoksid u ugljični dioksid, ugljikovodike u ugljični dioksid i vodu, a može i smanjivati razinu dušičnih oksida u plin dušika i kisika. „Djelotvorni katalizatori smanjuju štetne tvari u ispušnom plinu za do 90% . U automobilima se koriste trostazni katalizatori (benzinski motori) i oksidacijski katalizatori (dizelski motori) - ovisno o motoru sa do dva glavna katalizatora i četiri pretkatalizatora.“²⁹

Dieselove motore karakterizira veća emisija dušičnih oksida NO_x i naročito velika emisija čestica. S druge strane, kod Diesel motora su znatno manje emisije ugljikovodika (HC) i ugljičnog monoksida (CO), skoro pa zanemarive. Isto tako, kod Diesel motora ne postoji problem s olovom. Zbog velikog viška kisika ne može se koristiti multifunkcionalni katalizator. Kod vozila kao mjera ostaje vraćanje ispušnih plinova u svrhu smanjenja NO_x. Kod stacionarnih motora se provodi selektivna redukcija NO_x pomoću amonijaka. Emisije čestica smanjuju se primjenom DPF - Diesel Particulate Filter, na metalnoj ili keramičkoj bazi. Filter se čisti izgaranjem, gdje se uglavnom radi o čađi. Temperatura ispušnih plinova je relativno niska pa se koriste sustavi zapaljenja "sloja čađi". Katalitički sloj na unutrašnjosti filtera (oksidi neplemenitih metala) snizuje temperaturu zapaljenja za 80 - 100 °C (380 - 480 °C).³⁰

U katalizatoru se spomenuti otrovni plinovi koje proizvodi motor pretvaraju u manje štetne kao ugljični dioksid i vodenu paru. Ispravnost katalizatora mjeri se posebnim uređajem gdje svaki proizvođač automobila propisuje dozvoljenu granicu štetnih plinova, međutim neispravnim radom motora katalizator se može pregrijati i onečišćenjem začepiti pa dolazi do

²⁹ <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>

³⁰ <http://www.weboteka.net/fpz/Ekologija%20u%20prometu/191507057-Ekologija-prometa.pdf>

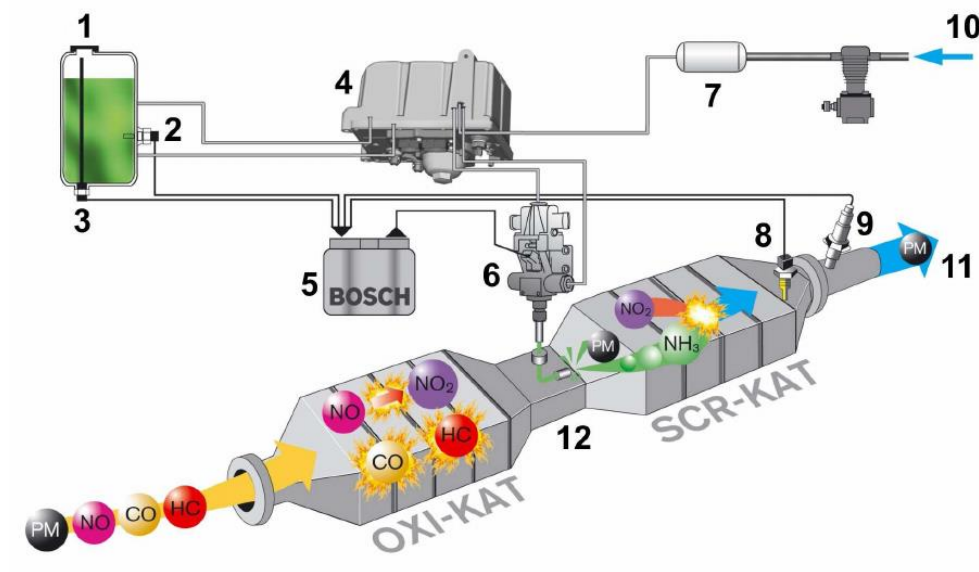
gubitka snage motora teškoće pri paljenju, visoke potrošnje goriva, povišene temperature motora te gašenje motora. Kod začepljenog katalizatora povećava se pritisak koji ne smije prijeći 0,5 bara. Katalizator vrši svoju funkciju tek kod zagrijanog motora, jer su kemijski procesi omogućeni kod temperatura 600 - 900 °C. Ono što je još važno za napomenuti je kada se saće u katalizatoru počnu rastapati i raspadati ti komadi raspadnute saće mogu začepiti ispušne cijevi pa čak i ispušne lonce!

6.1. Elementi za pročišćavanje ispušnih plinova Diesellovih motora

Diesel motori emitiraju manje CO₂ u odnosu na Otto motore. Emitirane čestice se sastoje od jezgre ugljika na koju su vezane više frakcije ugljikovodika, voda, sulfati i metalni oksidi. Kako je dokazano kancerogeno djelovanje ovih čestica, ova emisija predstavlja značajni nedostatak Diesel motora. Budući da Diesellovi motori rade sa siromašnom smjesom ($\lambda > 1$), izgaranje je gotovo potpuno pa su emisije CO i HC vrlo niske. Glavni problem predstavljaju krute čestice (čada) i dušikovi oksidi (NO_x).

Na slici 11 prikazan je primjer izvedbe ispušnog sustava Diesellovih motora koji udovoljava zahtjevima Euro 5. Za redukciju NO_x u ispušnim plinovima Diesellovih motora, koristi se oksidacijski katalizator DOC (engl. Diesel Oxidation Catalyst). Koristi kod Ottovih motora ne može ispuniti zadatak za redukcijom NO_x. Za smanjenje količine čestica primjenjuje se filter za čestice DPF (engl. Diesel Particulate Filter), a za smanjivanje sadržaja NO_x uređaj za povrat dijela ispušnih plinova u usis EGR (engl. Exhaust Gas Recirculation) ili znatno djelotvorniji uređaj za selektivnu katalitičku redukciju SCR (engl. Selective Catalytic Reduction)

Slika 11. Prikaz sustava za pročišćavanje ispušnih plinova Diesellovog motora Euro 5

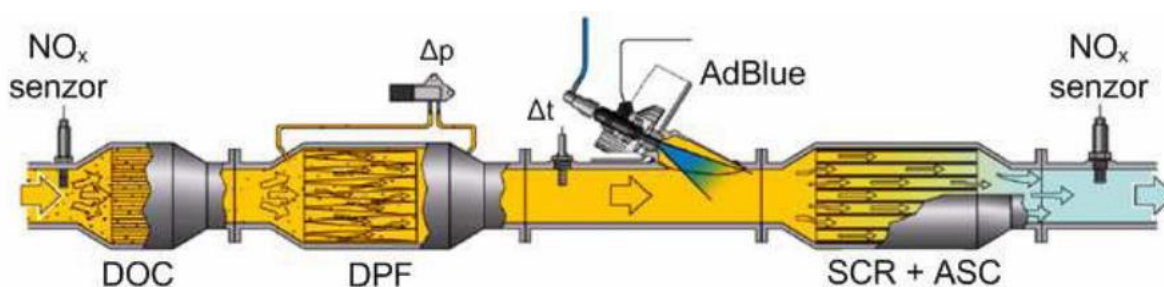


Izvor: <http://documents.tips/documents/katalizator-55c1e780c7205.html>

Djelovi ovog sustava su: 1 - spremnik otopine uree (AdBlue); 2 - osjetnik temperature; 3 - osjetnik napunjenosti spremnika; 4 - dobavni modul; 5 - upravljački uređaj; 6 - modul za doziranje; 7 - spremnik zraka; 8 - osjetnik temperature; 9 - osjetnik ispušnih plinova; 10 - dovod zraka; 11 - pročišćeni ispušni plinovi; 12 - cijev raspršivača.

Sljedeća slika nam prikazuje shemu sustava za pročišćavanje ispušnih plinova Diesellovog motora koji će morati udovoljavati zahtjevima Euro 6 za emisijom štetnih tvari. Oksidacijski katalizator (DOC) služi za smanjenje količine NO_x u ispuhu, filter čestica čađe (DPF) služi za pohranjivanje čestica i naknadno izgaranje, SCR+ASC katalizator (engl. Selective Catalytic Reduction + Ammonia Slip Catalyst) služi za smanjenje NO_x.

Slika 12. Prikaz Euro 6 ispušnog sustava Dieselog motora Euro 6



Izvor: <http://documents.tips/documents/katalizator-55c1e780c7205.html>

Procjena je Europske komisije da povećanje cijene vozila zbog prelaska s Euro 4 na Euro 5 iznosi 377 € za vozilo s Dieslovim motorom, a 51 € s Ottovim motorom. Propisana minimalna trajnost uređaja za pročišćavanje ispušnih plinova iznosi od 100000 km ili 5 godina za vozila kategorija M1 za propis Euro 5, a stupanjem na snagu propisa Euro 6 u 2014. godini ove će granice biti povećane na 160000 km ili 5 godina. U SAD-u i Japanu razvijeni su brojni postupci za obradu dimnih plinova motora primjenom katalizatora. U SAD-u je prvo počela masovna ugradnja: od 1980. godine svi novi automobili morali su imati ugrađen katalitički konvertor. U EU su se kat. pretvornici počeli ugrađivati znatno kasnije.

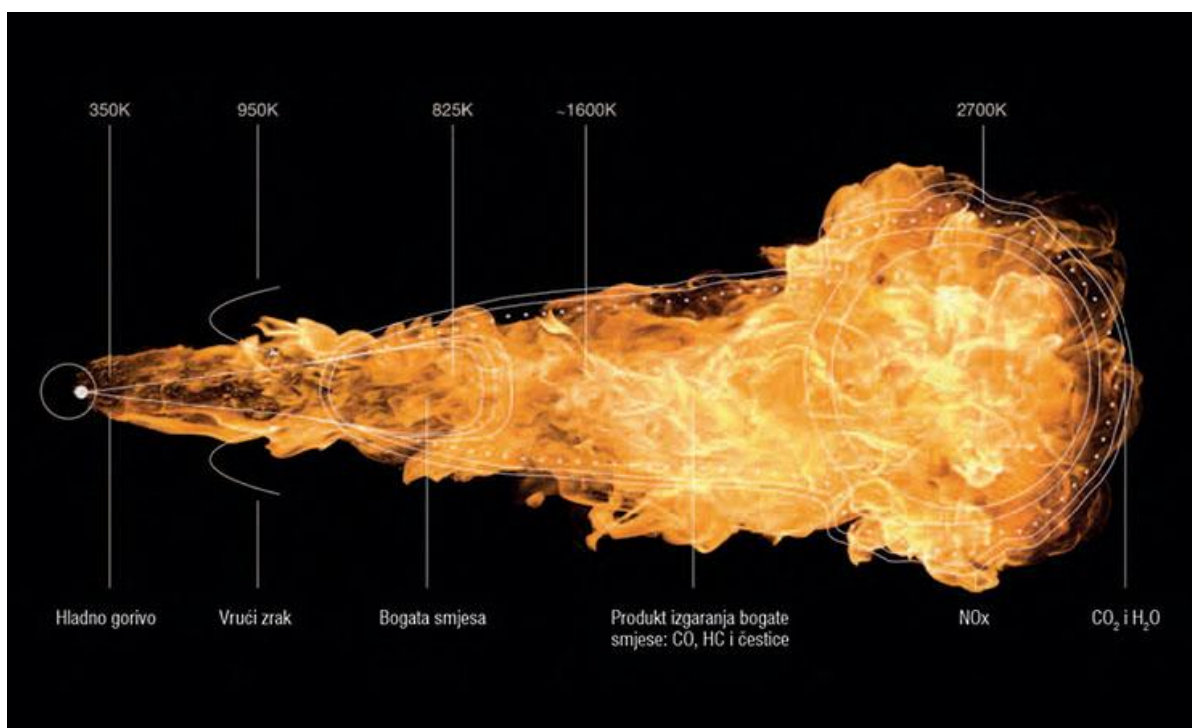
6.2. AdBlue, EGR i SCR

Uvođenjem Euro 6 norme u osobna vozila pojavljuje se sve više modela koji imaju i dodatne tankove za AdBlue. Naravno radi se o modelima s dizel motorima, budući da benzinski motori ne trebaju AdBlue, odnosno imaju drugačiju problematiku čišćenja ispušnih plinova. „Motor u taktu usisa usisava zrak čiji tlak prilikom kompresije raste do 50 bara, a temperatura na oko 550 stupnjeva. U tako stlačeni i vrući zrak ubrizgava se gorivo koji trenutno isparava i zapaljuje se, pri čemu dolazi do naglog rasta tlaka (do 250 bara) i temperature (u nekim dijelovima cilindra i do 2.500 stupnjeva).“³¹ Iako se radi o ekstremnim vrijednostima one u pravilu ne oštećuju motor jer se radi o vrijednostima temperature na određenima mjestima u cilindru koje se naglo smanjuju kako se klip kreće prema dolje. Osim tlaka i temperature kao glavnih posljedica izgaranja goriva, pojavljuju se i brojni produkti

³¹ <http://www.autopartner.com.hr/tehnika/item/636-sto-je-adblue-dodatak-i-cemu-sluzi>

izgaranja, nekoliko desetaka različitih kemijskih spojeva te krute čestice čađi. Budući da je gorivo ugljikovodik glavni produkti izgaranja su spojevi ugljika (CO , CO_2), vodena para (H_2O) te određena količina neizgorenih ugljikovodika (HC). Kako usisani zrak sadrži 79% dušika u uvjetima visoke temperature dolazi do spajanja molekula dušika i kisika i stvaranja vrlo opasnih dušičnih oksida (NOx). Gotovo svi produkti izgaranja koji nastaju u cilindru motora, osim vodene pare, su otrovni, kancerogeni ili na neki način ekološki neprihvatljivi.

Slika 13. Zapaljenje goriva uzrokuje nagli rast tlaka (do 250 bara) i temperature (do 2.500 stupnjeva)



Izvor: <http://www.autopartner.com.hr/tehnika/item/636-sto-je-adblue-dodatak-i-cemu-sluzi>

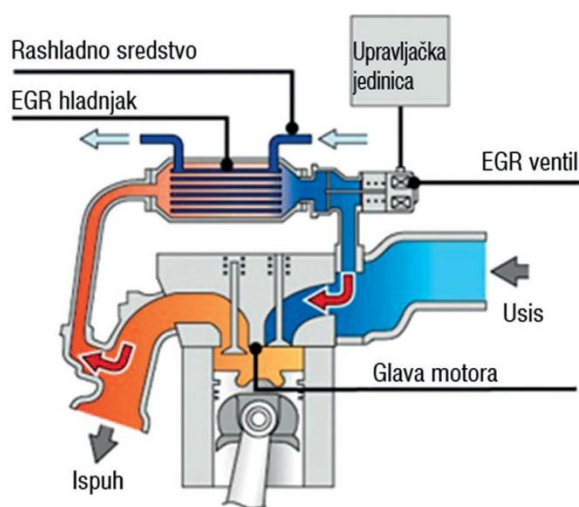
„Godine 1988. Europska ekonomska zajednica usvojila je direktivu 88/77/EEC kojom se definira Euro 0 odnosno Euro I norma u kojoj se po prvi put definiraju količine najvažnijih produkata izgaranja: ugljični monoksid (CO), neizgoreni ugljikovodici (HC), dušični oksidi (NOx) i krute čestice (PM). Kako su norme postajale sve strožije tako su i zahvati na motoru postajali sve zahtjevniji, što je iniciralo uvođenje turbina s varijabilnom geometrijom odnosno rješenja poput povrata ispušnih plinova (EGR) u cilindar.“³² Ipak, uskoro su iscrpljene mogućnosti postizanja traženih limita štetnih tvari samo zahvatima na motoru pa su se morali

³² <http://www.autopartner.com.hr/tehnika/item/636-sto-je-adblue-dodatak-i-cemu-sluzi>

ugraditi uređaji za naknadnu obradu ispušnih plinova poput oksidacijskih katalizatora, filtera čestica i sl. Uvođenje Euro 4 norme je bila jedna od prekretnica koja je postavivši (za to vrijeme) stroge standarde po prvi put inicirala pojavu i SCR tehnologije.

EGR (Exhaust Gas Recirculation) je tehnologija kojom se izgorjeni plinovi ponovno vraćaju u cilindar gdje de facto glume inertni plin što je bio jedan od načina za poboljšanje ispuha. Razlog za povrat plinova leži u činjenici da dizel motori moraju raditi s tzv. pretičkom zraka, odnosno moraju imati dvostruku količinu zraka od one koja je nužno potrebna da bi izgorilo sve gorivo.

Slika 14. Prikaz sustava za povrat ispušnih plinova



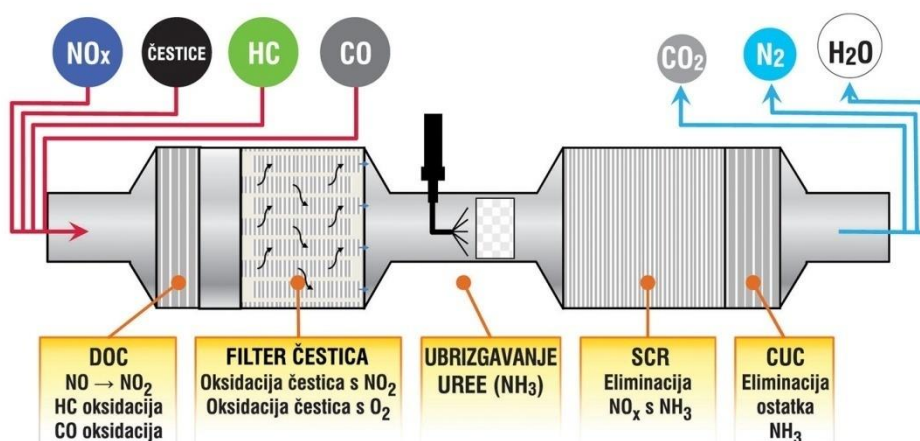
Izvor: <http://www.autopartner.com.hr/images/k2/tehnika/SCR/EGR.jpg>

Ovo dovodi do situacije u kojoj u cilindru postoje slobodne molekule kisika i dušika iz zraka koje se u uvjetima visoke temperature i tlaka spajaju čime nastaju vrlo nepoželjni dušični oksidi (dušični monoksid-NO i dušični dioksid-NO₂) za koje se koristi zajednički naziv NO_x. Povratom izgorjenih plinova u cilindru se dio zraka zamjenjuje s inertnim plinom čime se smanjuje mogućnost nastanka NO_x jer je manje slobodnog kisika i dušika. Povratni plinovi mogu činiti i do 30 posto volumena prilikom usisa. Kao i uvijek u prirodi jedna pojava uvijek uzrokuje drugu pa iako smanjuju NO_x povratni plinovi istodobno uzrokuju drugi problem: nekvalitetnije izgaranje u kojem su vršne temperature nešto manje što opet dovodi do povećanja količine krutih čestica. „NO_x i krute čestice imaju konfliktne kemijske faktore pa veći udio EGR-a u usisu znači i veću količinu čestica (PM) pa je u većini slučajeva nužna ugradnja filtera čestica. Također, povećanjem udjela povratnih plinova se povećava i

potrošnja zbog čega postotak povrata nikad ne prelazi između 20 i 30 posto jer nakon toga potrošnja počinje naglo rasti.

Neki proizvođači su se za dobivanje Euro 4 i Euro 5 norme služili samo SCR (Selective Catalytic Reduction) tehnologijom bez korištenja EGR-a. Radi se o relativno jednostavnom, ali vrlo efikasnom rješenju prilikom koje se u ispuh ubrizgava otopina uree (poznata pod trgovačkim nazivom AdBlue) od koje nastaje amonijak koji se veže s NO_x pri čemu nastaje neopasni dušik i vodena para.³³ No ovakvo rješenje, osim ugradnje posebnog SCR katalizatora zahtjeva ugradnju dodatnog spremnika za AdBlue kojeg se mora također dopunjavati. Potrošnja AdBlue dodatka je oko 5% potrošnje goriva.

Slika 15. Ubrizgavanje Adblue u ispuh, nastaje amonijak koji reagira sa Nox



Izvor: <http://www.autopartner.com.hr/tehnika/item/636-sto-je-adblue-dodatak-i-cemu-sluzi>

Obzirom na iznimno niske količine štetnih sastojaka u ispuhu većina proizvođača je za postizanje Euro 6 norme odlučila kombinirati i EGR i SCR. Tako se uz pomoć EGR-a smanjuje količina NO_x, ali se mora ugraditi i SCR katalizator da bi se NO_x u potpunosti eliminirao. Naravno tu je i filter čestica koji se redovito regenerira (najčešće automatski osim u posebnim režimima vožnje) zbog nešto veće količine čestica koje ima EGR tehnologija. Neki proizvođači koriste samo SCR što znači da ispuh relativno malo čestica (no svejedno je nužan filter) te SCR katalizator koji u ovom slučaju koristi nešto veću količinu AdBlue dodatka jer je nužno eliminirati veću količinu NO_x.

³³ <http://www.autopartner.com.hr/tehnika/item/636-sto-je-adblue-dodatak-i-cemu-sluzi>

„AdBlue je otopina uree u vodi i sadrži 32,5 posto uree i 67,5 posto destilirane vode. Sastav i kvaliteta definirani su standardom ISO 2241 odnosno DIN 70070. Udio različitih metala ne smije prelaziti 0.2 mg/kg kako se ne bi oštetio SCR katalizator. Pojavljuje se i naziv AUS32 (*Aqueous Urea Solution 32%*, odnosno vodeni rastvor uree od 32%) te također i DEF (odnosno *Diesel Exhaust Fluid*).“³⁴ AdBlue je relativno podložan temperaturnim utjecajima pa ga je nužno skladištiti u odgovarajućim uvjetima kako bi se zadržala tražena kvaliteta (smrzava se na -11,5 stupnjeva).

Slika 16. Prikaz izvedbe AdBlue spremnika kod novih automobila



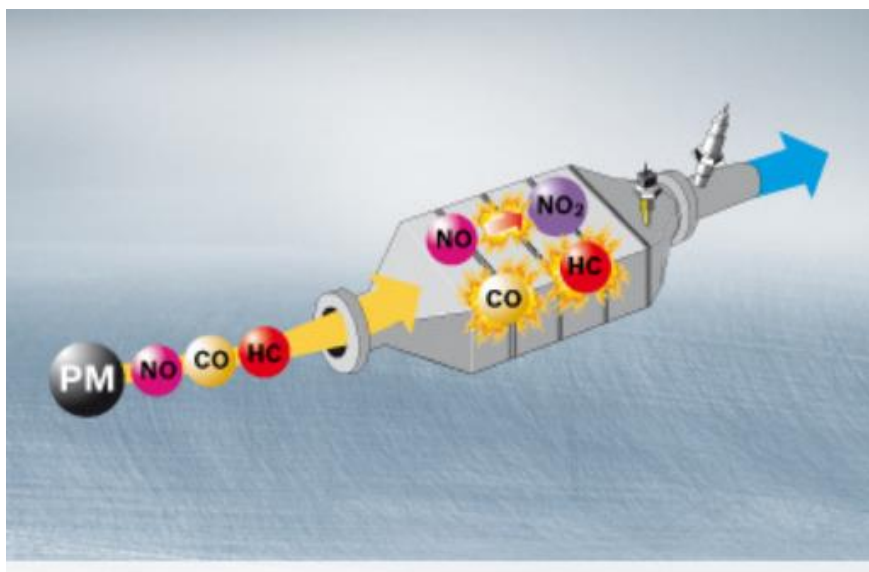
Izvor: <http://www.autopartner.com.hr/tehnika/item/636-sto-je-adblue-dodatak-i-cemu-sluzi>

³⁴ <http://www.autopartner.com.hr/tehnika/item/636-sto-je-adblue-dodatak-i-cemu-sluzi>

6.3. Oksidacijski katalizator

Oksidacijski katalizatori (koriste se kod Otto motora), kod Diesel motora služe za sniženje udarnih količina ugljikovodika HC kod sistema povratka dimnih plinova ili redukcija HC i CO koji nastupaju u početku regeneracije DPF.

Slika 17. Prikaz oksidacijskog katalizatora



Izvor: <http://documents.tips/documents/katalizator-55c1e780c7205.html>

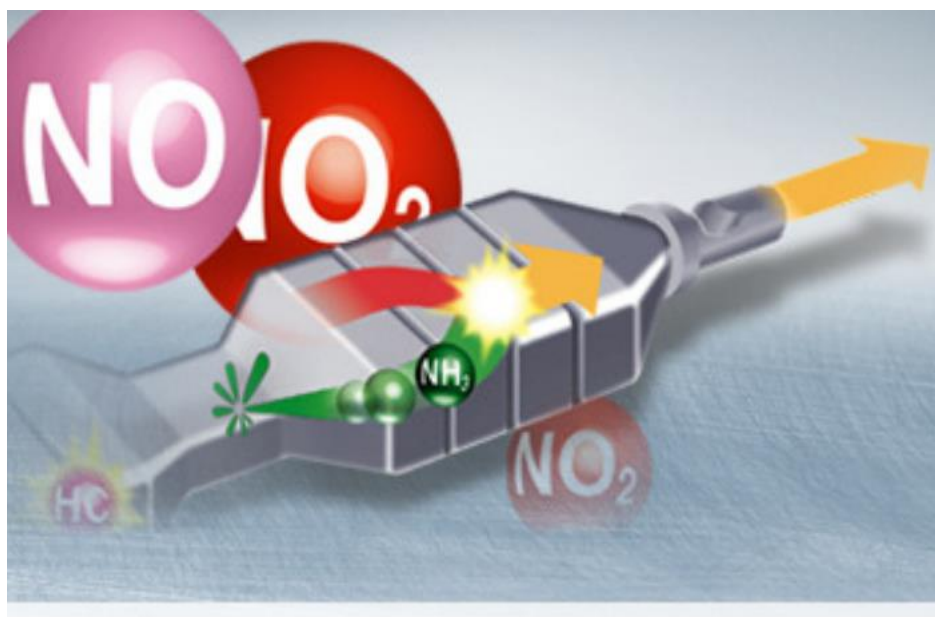
Ovi katalizatori stavljaju se poslije DPF-a ili se u kompletnoj izvedbi nanose na zidove kanala izlaznih ispušnih plinova. Na ulazu dimnih plinova zidovi kanala pretvornika imaju katalizator za zapaljenje, a na izlazu sloj oksidacijskog katalizatora. „Oksidacijski katalizator pretvara ugljikovodike (HC) i ugljični monoksid (CO) iz dizelskih ispušnih plinova u vodu i ugljični dioksid (CO₂). Uz to oksidira dušični monoksid (NO) u dušični dioksid (NO₂). Oksidacijski katalizator se sastoji od keramičkog ili metalnog nosača s aksijalno prohodnim kanalima čiji su rubovi široki oko jednog milimetra. Stranice su prevučene platinom ili radijem kao katalitički aktivnom tvari. Kod vozila s dizelskim filtrom za čestice se oksidacijski katalizator nalazi ispred filtra. NO₂ koji ispušta katalizator u filtru za čestice oksidira preostalu rđu koja se uglavnom sastoji od ugljika u neškodljivi sastojak zraka dušik (N₂) i u ugljični dioksid.“³⁵

³⁵ Kalauz, Z.: Ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila, Zagreb, 2000.

6.4. Akumulacijski katalizator

Akumulacijski NO_x katalizator ima važnu ulogu u nastojanju da se napravi što čišći dizelski motor, motor koji će moći udovoljiti sve strožim ograničenjima za ispušne plinove. Postavljen je ispod oksidacijskog katalizatora i filtra za čestice te ima posebni premaz koji upija plin NO_x u toku ispušnih plinova.

Slika 18. Prikaz akumulacijskog katalizatora



Izvor: <http://documents.tips/documents/katalizator-55c1e780c7205.html>

Akumulacijski NO_x katalizator ima dva različita načina rada: „u normalnom načinu rada ($\lambda > 1$), NO najprije oksidira u NO₂, a zatim nitričnom formacijom (NO₃) pohranjenom u katalizatoru u lužnati metal oksid (npr. barij oksid). Kao i kod filtra za čestice, pravi izazov kod akumulacijskog NO_x katalizatora je regeneracija, odnosno povremeno pražnjenje spremnika. Za regeneraciju spremnika moraju se ostvariti uvjeti za obilne ispušne plinove ($\lambda < 1$). U ovim radnim uvjetima ispušni plin sadrži toliko redukcijskog agensa (ugljični monoksid, vodik i razne smjese vodika i ugljika) da se dušična veza naglo prekida i pretvara se u netoksičan dušik (N₂) izravno na katalizator presvučen plemenitim metalom.“³⁶ Ovisno o radnoj točki motora punjenje traje između 30 i 60 sekundi. Regeneracija traje jednu ili dvije

³⁶ Kalauz, Z.: Ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila, Zagreb, 2000.

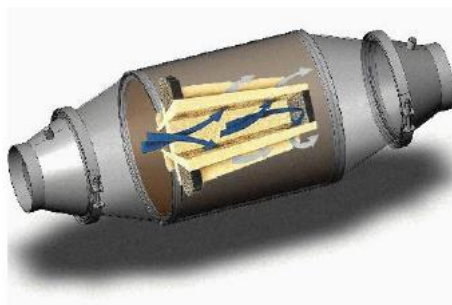
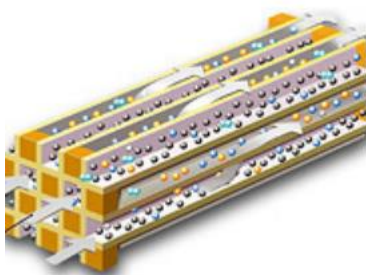
sekunde. Kako bi se utvrdilo je li potrebna regeneracija nužni su brojni temperaturni i tlačni senzori. Akumulacijski katalizator može smanjiti emisije NO_x-a i do 85 posto.

6.5. Filter čestica diesela (DPF)

Kod filtera čestica diesela se radi o sustavu za izdvajanje dizelske čađe iz ispušnih plinova dieselskih motora. Ovisno o modelu, koriste se dva modela: Filteri čestica diesela bez aditiva koji se koriste kod vozila, kod kojih je filter čestica smješten u blizini motora. Sustavi sa aditivom se koriste kod vozila kod kojih nije moguće smještanje filtera čestica u blizini motora.

Katalitički premazan filter radi bez aditiva i za to koristi premaz filtera koji sadrži plemeniti metal, te djeluje na dva načina. „Kod pasivne regeneracije se odvija spora i oprezna pretvorba čađe nataložene u katalizatoru u CO₂. Taj postupak se odvija u temperaturnom području od 350 - 500 °C i teče kontinuirano, prije svega u vožnji pretežno na autocesti, bez posebnih mjera.“³⁷

Slika 19. Prikaz filtera čestica čađe



Izvor: <http://documents.tips/documents/katalizator-55c1e780c7205.html>

³⁷ Kalauz, Z.: Ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila, Zagreb, 2000.

7. ZAKLJUČAK

Potreba očuvanja okoliša i zdravlja ljudi dovodi do sve strožih zahtjeva u pogledu dopuštenih granica emisija štetnih tvari iz motora. Uz kontinuirano poboljšavanje procesa izgaranja u cilindru motora, poboljšanja postojećih ili razvoj novih sustava za pročišćavanje ispušnih plinova te optimizacije upravljanja radom motora i vozila u cjelini, kvaliteta goriva je unatrag nekoliko godina postala jednim od bitnih činjenica potrebnih za zadovoljavanje strogih zahtjeva. Gorivo je time postalo bitnim parametrom u konstrukciji motora, a naročito sustav za pročišćavanje ispušnih plinova. Razvoj budućih propisa o graničnim vrijednostima emisija štetnih tvari s jedne strane je pod pritiskom politike i „zelenih“, koji nastoje da te granice budu što niže, s druge strane su proizvođači motora i vozila te proizvođači goriva koji se nastoje tome oduprijeti. Uz to proizvođači motora i vozila i proizvođači goriva imaju različite poglede na kvalitetu goriva koja je potrebna kako bi se zadovoljili emisijski propisi, i jedni i drugi, s ciljem smanjenja troškova proizvodnje. Razvoj novih sustava za pročišćavanje ispušnih plinova je jedan od bitnijih činjenica kod zaštite okoliša u svrhu smanjivanja emisije štetnih ispušnih plinova. U svrhu smanjenja NO_x postoji mogućnost vraćanja dijela dimnih plinova u prostor izgaranja, čime se može smanjiti emisija za oko 30%. Emisije čestica smanjuju se primjenom DPF - Diesel Particulate Filter - na metalnoj ili keramičkoj bazi. Filter se čisti izgaranjem - uglavno se radi o čađi. Oksidacijski katalizatori (koriste se kod Otto motora), kod Diesel motora služe za sniženje udarnih količina ugljikovodika HC kod sustava povratka dimnih plinova ili redukcija HC i CO koji nastupaju u početku regeneracije DPF. Sve su to mjere smanjivanja štetnih ispušnih plinova koje današnji automobili pokretani diesel gorivom trebaju imati kako bi emisija takvih plinova bilo malena ili gotovo neznatna. Smanjenje onečišćenja okoliša motornim vozilima moguće je na različite načine: Unaprijeđenja motora i vozila; razvoj i primjena vozila na alternativni pogon (gorive ćelije, električni pogon,...) – pogotovo primjenjivo za gradske uvjete; poboljšanja kvalitete goriva; kontrola evaporativnih gubitaka u proizvodnji, distribuciji i korištenju goriva; eliminacija ili barem redukcija starijih, visoko onečišćujućih vozila; fiskalne mjere za obesharbrivanje nepotrebne upotrebe motornih vozila; poboljšanje sustava javnog prijevoza i naravno razvoj novih sustava za pročišćavanje ispušnih plinova.

POPIS LITERATURE

1. Eko-test, Stručni bilten br.87., Centar za vozila Hrvatske d.o.o., Zagreb, 2000. Dostupno na: <https://www.scribd.com/doc/196747111/Ispitivanje-Izduvnih-Gasova-Motornih-Vozila>
2. Golubić, J.: Promet i okoliš, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999.
3. Hrvatska enciklopedija, Broj 3 (Da-Fo), Leksikografski zavod Miroslav Krleža, Zagreb, 2001., ISBN 953-6036-33-9
4. Kalauz, Z.: Ispitivanje ispušnih plinova motornih vozila, Zagreb, 2000.
5. Likić, J.: Koliko cestovni promet zagađuje zrak u Hrvatskoj. Dostupno na: <http://biologija.com.hr/modules/AMS/article.php?storyid=8609>
6. Simeon, V.: Hrvatska nomenklatura anorganske kemije, Školska knjiga, Zagreb, 1996.
7. Šagi, G., Tomić, R., Ilinčić P.: Razvoj propisa o dopuštenim emisijama štetnih tvari iz motora s unutarnjim izgaranjem, Zagreb, 2009.
8. Zavad, J.: Prijevozna sredstva, Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2000.
9. [http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest Voz spec 12 Motor ispuh.pdf](http://www.veleri.hr/files/datoteke/nastavni_materijali/k_promet_s2/Cest_Voz_spec_12_Motor_ispuh.pdf)
10. <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php>
11. http://www.autoispuh.hr/cms_upload/upload/thumbs/djelovi1.jpg
12. <http://www.autoispuh.hr/tehnika.php?kateg=4>
13. http://www.autoispuh.hr/cms_upload/upload/thumbs/fizicka_ostecenja.jpg
14. <http://www.autoispuh.hr>
15. <http://documents.tips/documents/katalizator-55c1e780c7205.html>
16. <http://www.autopartner.com.hr/tehnika/item/636-sto-je-adblue-dodatak-i-cemu-sluzi>
17. <https://www.silux.hr/motorsport-vijesti/15/komponente-ispusnog-sustava-i-njegove-funkcije>
18. <http://www.energetika-net.com/vijesti/zastita-okolisa/oneciscenje-zraka-iz-cestovnog-prometa-13358>
19. http://powerlab.fsb.hr/enerpedia/index.php?title=ENERGETIKA_I_OKOLI%C5%A0